

Talajvizsgálatok elektromos-ultraszűrővel (EUF)

NÉMETH KÁLMÁN

Büntehofi Mezőgazdasági Kutató Intézet, Hannover, NSZK

(A Talajtani Társaság 1971. június 15-i Vitaülésén elhangzott előadás anyaga)

A növények optimális táplálásának előfeltétele a tápanyagok tényleges felvehetősége. Ez azt jelenti, hogy a növények számára nem a különböző vegyszerekkel kioldott tápanyagok mennyisége a létfontosságú tényező, hanem a talajoldat tápanyagkoncentrációja. Minél nagyobb ez a koncentráció, annál több tápion jut el a növény gyökereihez egy bizonyos időegység alatt és így annál többet tud felvenni belőlük a növény (OLIVER és BARBER [12], MENGEL et al. [4]).

A jelenlegi talajvizsgálati módszerek — a különböző vegyszeres extrakciók — csak a talajtápanyagok mennyiségét tükrözik. Ismeretlen marad azonban a talajoldat tápanyagkoncentrációja, mert ez nem csak a tápanyagok mennyiségétől, hanem ezek kötési formájától is függ. A tápanyagok kötési formáját a különböző talajtulajdonságok határozzák meg, mint pl. az agyagtartalom, az agyagásványok összetétele, humusz, a talajoldat Ca-, Al- és Fe-koncentrációja, stb. Éppen ezért, ha nagyon eltérők a talajtulajdonságok, rossz összefüggéseket találunk a talajtápanyagok mennyisége és a talajoldat tápanyagkoncentrációja között. Ennek a munkának nem lehet a feladata ezeket az összefüggéseket tárgyalni, mert más helyen részletesen ismertettük őket (NÉMETH et al. [6], NÉMETH [9]).

A vegyszeres extrakciós módszerekkel szemben a talajoldat vizsgálata jól mutatja a talajtápanyagok tényleges felvehetőségét, hiszen a talajoldat a növények tápoldata (OLIVER és BARBER [12] MENGEL et al. [4], MENGEL és NÉMETH [5], GRIMME et al. [3]). Sajnos a talajoldat vizsgálatánál nyert értékek csak „pillanatnyi” értékek, mert ismeretlen marad, hogy a vegetáció folyamán állandó marad-e a koncentráció vagy gyorsan lecsökken.

A modern talajvizsgálati módszereknek tehát a következő kérdésekre kell feleletet adniok:

1. Milyen nagy a talajoldat tápanyagkoncentrációja?
2. Hogyan változik ez a koncentráció a vegetációs év folyamán?
3. Mi történik a talajba juttatott tápanyagokkal (megkötődés)?

Ennek a munkának az a feladata, hogy a fent említett kérdésekre az elektromos-ultraszűrő (EUF) módszerével feleletet adjon. A tartalom a következő két részre osztható:

I. Összefüggések az EUF-görbék jellege és a növénytáplálás szempontjából fontos talajtulajdonságok között, valamint ezek kiértékelése talajvizsgálati célokra.

II. Összefüggések az EUF értékek és a termés mennyisége között.

- a) tenyészedenyvkísérletek,
- b) szabadföldi kísérletek.

Módszer

A módszer lényege abban áll, hogy a talajoldat ionjait az elektromos áram segítségével vonjuk el. Ez a módszer tehát az elektromos áram segítségével meggyorsított és irányított vizesextrakció. Miután a talaj szuszpenzió ionjait állandóan elvonjuk, nem tud a rendszerben egyensúly beállni és így mindig új ionok kerülnek az oldatba. Az ionok deszorpciós sebessége egyenesen arányos a feszültséggel és fordítva arányos az ionok kötési erejével. Tehát, ha változtatjuk a feszültséget, több tápanyagfrakciót nyerhetünk egy munkafolyamat alatt.

Az EUF módszerrel a következő ionok frakcióit lehet vizsgálni:

- a) A katódnál a K^+ ; Na^+ ; NH_4^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; vas; alumínium és egyes nyomelemek és
- b) az anódnál a NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , karbonátok, foszfátok és a negatív töltésű agyagásványok vizsgálata lehetséges.

A H^+ - és OH^- -ionok gázalakban eltávoznak.

Nem lehet feladatunk jelenleg, az EUF szerkezet technikai részleteinek ismertetése. Itt inkább az eddig elért vizsgálati eredményekről számolunk be. Technikai részletekkel kapcsolatban lásd: NÉMETH [8], [10].

Eredmények

I. Összefüggések az EUF-görbék jellege és a növény táplálás szempontjából fontos talajtulajdonságok között, valamint ezek kiértékelése talajvizsgálati célokra.

a) Nátrium-deszorpciógörbék

Az első ábra három talaj Na-deszorpciógörbéit mutatja. A talajok agyagtartalma különböző; agyagásványaik az illites csoportba tartoznak. Az Y -tengelyen az EUF-ben leadott Na-mennyiséget tüntettük fel. Az X -tengelyen a feszültség és az extrakció ideje látható. A görbék formája mind a három talajnál azonos. Az Na-deszorpciója 20–25 perc alatt befejeződik. Ez azt jelenti, hogy a Na^+ kötési energiája mind a három talajnál hasonló volt, jól lehet a talajok agyagtartalma igen különböző. Ez azzal magyarázható, hogy a nátriumionoknak nincsenek az agyagásványokon szelektív kötési pozíciói, több mint valószínű, a nagy hidratburok következtében (EHLERS et al. [1, 2]).

A humusz szintén nem szelektíven köti a Na^+ -ot (EHLERS et al. [1]), ami azt jelenti, hogy a Na-deszorpciógörbék formája különböző humusz mennyiségek esetén is azonos.

A fenti megfigyelések gyakorlati jelentősége abban áll, hogy a talajoldat Na^+ -koncentrációja független a talaj agyag- és humusztartalmától. A talajoldat Na^+ -koncentrációját csak a kicserélhető nátrium mennyisége határozza

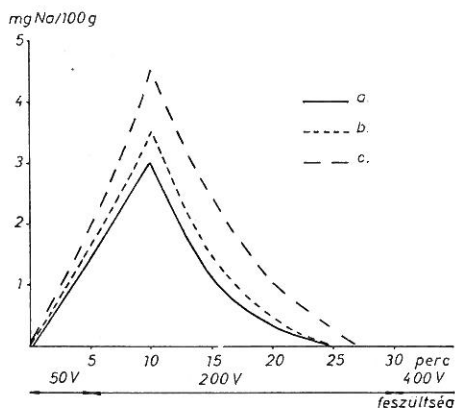
meg. Minél nagyobb ez a mennyiség, annál nagyobb a talajoldat Na^+ -koncentrációja (MENDEL és NÉMETH [5]). A K^+ - és Ca^{2+} -ionoknál, amint még később látni fogjuk, teljesen más a helyzet.

A Na-deszorpciógörbék kiértékelése talajvizsgálati célokra igen egyszerű. Az EUF-ben 25 perc alatt leadott Na összege egyenlő a kicserélhető Na mennyiségével. Ezzel kapcsolatban hangsúlyoznunk kell, hogy a fentemlített összefüggés a szikes talajok esetében nem biztos, hogy általánosítható.

b) A kálium-deszorpciógörbék különböző formái

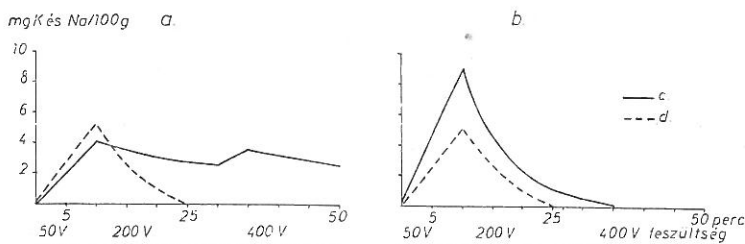
A Na^+ -al ellentétben a K^+ - és NH_4^+ -nak az egyes agyagásványokon többféle szorpciós pozíciói vannak, amelyek kötési energiája igen különböző lehet (SCHUFFELEN és SCHONWENBURG [15]). Így érthető tehát, hogy a K-deszorpciógörbék is nagyon változatosak lehetnek, a kicserélhető K^+ -ionok kötési helyétől függően.

A második ábra két talaj Na- és K-deszorpciógörbét mutatja. A talajok kicserélhető K- és Na mennyisége azonos, de agyagtartalmuk különböző. Amint az ábra mutatja, a Na-görbék mindkét talajnál azonosak. A K-görbék azonban különbözők. Az agyagtalaj a káliumot sokkal nehezebben adja le, mint a homoktalaj. Az agyagtalaj kicserélhető K^+ ionjai tehát más energiával kötöttek, mint a homoktalajé. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a talajoldat K-koncentrációja hasonló kicserélhető káliumtartalom esetén annál alacsonyabb, minél nagyobb a talaj agyagtartalma. Ez az összefüggés persze csak akkor érvényes, ha a K^+ -ionnak különböző szorpciós pozíciói vannak az agyagásványokon (NÉMETH et al. [6]). A kaolinitos agyagásványoknak pl. nincsenek



1. ábra

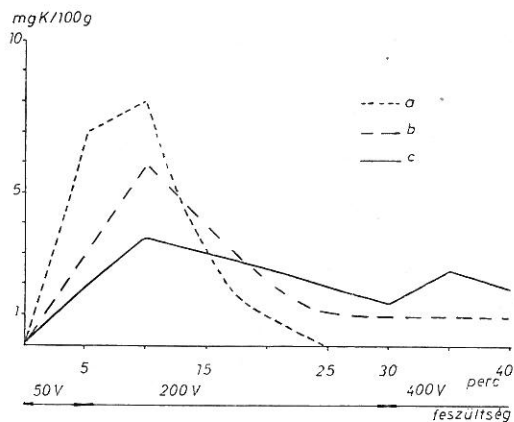
Különböző agyagtartalmú talajok Na deszorpciós görbéi. a) Homok talaj (4% agyag). b) Vályog talaj (17% agyag). c) Agyagos talaj (32% agyag). Vízszintes tengely: A deszorpciós ideje. Függőleges tengely: Az EUF-ben deszorbeált Na mennyisége, mg/100 g talaj.



2. ábra

Két talaj K és Na deszorpciós görbéje hasonló kicserélhető K és Na mennyiségek, de különböző agyagtartalmak esetén. a) Agyagos talaj. b) Homoktalaj. c) K deszorpciós görbék. d) Na deszorpciós görbék. Vízszintes tengely: Deszorpciós ideje. Függőleges tengely: Az EUF-ben leadott K és Na mennyisége, mg/100 g talaj.

többféle kötési pozíciói a kálium részére. Ezt mutatja a harmadik ábra is. A kaolinitos talajnál a K^+ deszorpciója 25 perc alatt befejeződött (hasonlóan a Na^+ -hoz). Az illites talajoknál a 25 perc alatt leadott K^+ mennyisége sokkal kevesebb, mint a kaolinitosnál, jóllehet a kicserélhető káliumtartalom azonos. Az illites talajok kicserélhető K^+ ionjainak kötési energiája tehát nagyobb,



3. ábra

K deszorpciós görbék hasonló kicserélhető káliumtartalom, de különböző agyagásványok esetén. a) Kaolinitos agyagásványok. b) Illites agyagásványok. c) Főként kitágított rácú illites agyagásványok. Vízszintes tengely: Deszorpció ideje. Függőleges tengely: Az EUF-ben deszorbeált K mennyisége, mg/100 g talaj.

mint a kaolinitos talaj K^+ ionjaié. Ez a tény az agyagásványok kristályszerkezetének felépítésével magyarázható.

Az eddigiekből kitűnt, hogy a kálium deszorpciójának sebességét az agyag mennyisége és az agyagásványok minősége határozza meg. Még egy faktorra azonban fel kell hívnunk a figyelmet, mégpedig a pH értékre. A negyedik ábra négy talaj K-görbéjét mutatja. A talajok kicserélhető K mennyisége és agyagtartalma azonos, de a pH értékük eltérő. Amint az ábra mutatja, minél alacsonyabb a pH, annál gyorsabb a K^+ -deszorpciója, ami azt jelenti, hogy a pH-változás hatására a K^+ más-más energiával kötődik meg. Ez azzal magyarázható, hogy a K^+ -ionoknak az alacsony pH-nál jelenlevő alumíniummal a különböző szorpciós helyekért konkurrálniuk kell. Ezzel kapcsolatos részleteket láds pl. NÉMETH és GRIMME [11].

c) A kálium-deszorpciógörbék kiértékelése talajvizsgálati célokra

Az előzőekben láthattuk, hogy a K-görbék formája a különböző talajtulajdonságoknál más és más volt. Tehát a görbék lefutása jellemezhet egyes talajtulajdonságokat. Az ezek közötti konkrét összefüggés feltárása céljából meg kellett először vizsgálnunk több száz talajmintát az eddigi talajvizsgálati módszerekkel is. Az így nyert értékek segítségével kalibráltuk az EUF-görbéket, és a következő igen szoros összefüggéseket találtuk:

1. A 10 perc alatt az EUF-ben leadott K mennyisége arányos a talajoldat K^+ -koncentrációjával.

$$Y = 0,1 x - 0,09$$

$$r = 0,88^{***}$$

Y = a telített talajoldat K^+ -koncentrációja mgé/l,

x = a 10 perc után leadott K mennyisége mg/100 g.

Minél nagyobb a 10 perc alatt leadott K mennyisége, annál nagyobb a talajoldat K-koncentrációja és annál többet tud felvenni belőle a növény.

2. A 35 perc alatt leadott kálium összege egyenlő a kicserélhető K^+ mennyiségével.

$$Y = 1,13 x + 1,4$$

$$r = 0,98^{***}$$

Y = a kicserélhető kálium mennyisége mg/100 g talaj,

x = 35 perc alatt leadott K^+ összege mg/100 g talaj.

Az említett összefüggésekkel kapcsolatos részleteket lásd NÉMETH [8].

A K-görbék lefutása jelezheti az agyagásványok összetételét. Ha 35 perc után egy második csúcs figyelhető meg a K-görbén (5. ábra, \overline{CD}), akkor az agyagásványok zöme kitágított rácsú illitekből áll, amelyek a talajba juttatott káliumot megkötik (fixálják). Hogy mennyi káliumot fixál a talaj, azt a 10 perc után (\overline{AB}) és a 35 perc után (\overline{CD}) leadott káliumfrakciók aránya dönti el $\left(\frac{\overline{AB}}{\overline{CD}}\right)$.

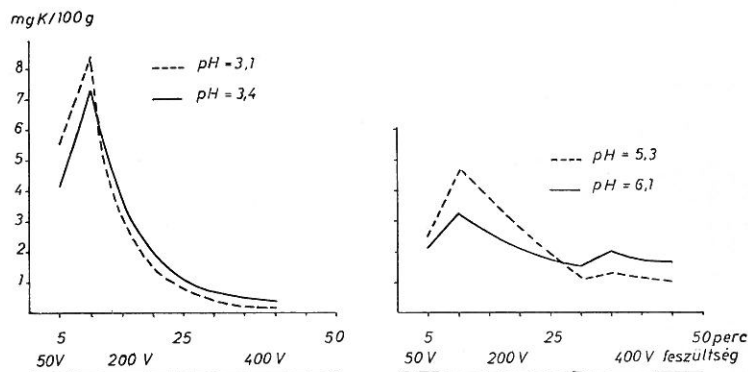
$$y = 10^{(-0,54 + 2,29)}$$

y = a fixált kálium mennyisége mg/100 g talaj

$$x = \frac{\overline{AB}}{\overline{CD}}$$

Ha az első csúcs \overline{AB} csak olyan nagy mint a második \overline{CD} , tehát az arány 1 : 1, akkor fixál a talaj a legtöbbet. Ha az első csúcs négyszer nagyobb a másodiknál (4 : 1), akkor gyakorlatilag már nem fixál a talaj káliumot.

A második csúcs \overline{CD} nagysága jelzi még a nem kicserélhető formában, jelenlevő kálium kötési energiáját. Minél nagyobb ez a szakasz, annál könnyebben adja le a talaj a nem kicserélhető formában kötött káliumát. Ha a kálium



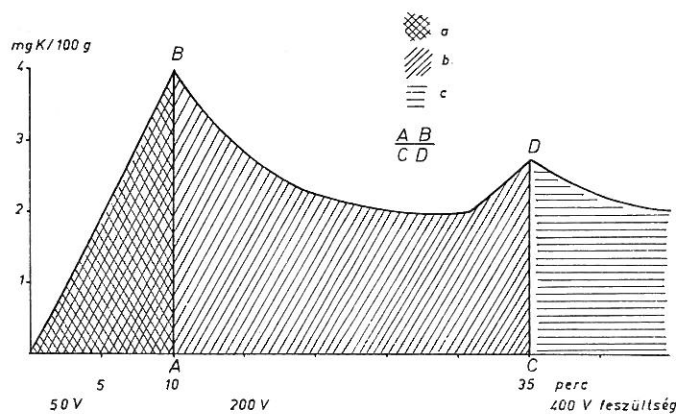
4. ábra

K deszorpciós görbék azonos kicserélhető K-tartalom (20 mg K/100 g talaj), de eltérő pH értékek esetén. Vízszintes tengely: Deszorpciós idő. Függőleges tengely: Az EUF-ben deszorbeált K-mennyisége.

deszorpciója 30 perc alatt végbemegy, akkor a talajnak csak kicserélhető formában kötött káliuma van. Tehát ha a kicserélhető K elfogy, a talaj nem képes a növény által felvett káliumot pótolni.

d) Kalcium-deszorpciósgörbék

A Ca^{2+} -ionoknak a humuszon vannak szelektív kötési pozíciói (SCHACHT-SCHABEL [14]), tehát a humusz a Ca-ot nehezebben adja le, mint az agyag-ásványok (NÉMETH [7]). Amint ezt a 6. ábra is mutatja, a csernozjom talajok



5. ábra

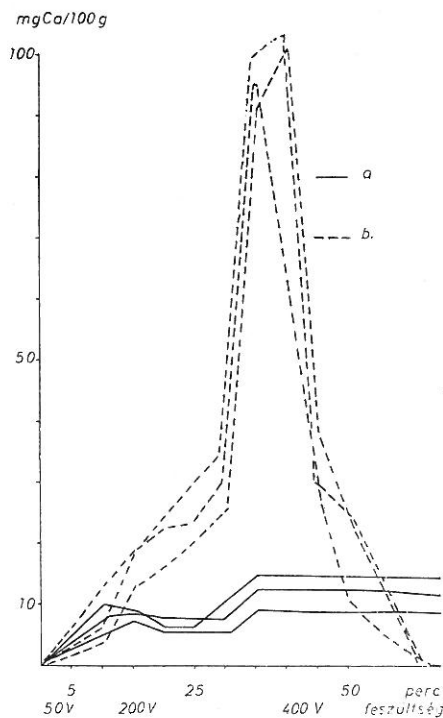
A K deszorpciós görbék kiértékelése talajvizsgálati célokra. a) Intenzitásra jellemző számérték (a talajoldat K^{+} -koncentrációja). b) Mennyiségre jellemző számérték (a talaj kicserélhető K mennyisége). c) Tápanyag utánpótlásra jellemző érték. $\frac{AB}{CD}$ = a talaj K megkötő (fixáló) képessége. Vízszintes tengely: Deszorpció ideje. Függőleges tengely: Az EUF-ben deszorbeált K mennyisége.

igen nehezen adják le a Ca-ot még 400 V-nál is. A humusz szétroncsolása után (H_2O_2 -al) a Ca deszorpciója gyorsan befejeződik.

A 7. ábra szintén Ca-görbéket mutat. Ha CaCO_3 van jelen a talajban, akkor ez 400 V-nál gyorsan oldódni kezd. A Ca-görbe meredeken ível fölfelé 35 perc után. A CaCl_2 már 50 és 200 V-nál 10–15 perc alatt az EUF-ben ki-mutatható. Ha tíz perc alatt sok Ca-ot találunk az EUF-ben, akkor a talajoldat Ca-koncentrációja nagy (szoloncsáktalaj). A szoloncsáktalaj görbéje még azt is mutatja, hogy ez a talaj CaCO_3 -at is tartalmaz, mert a görbe 400 V-nál meredeken megy fölfelé.

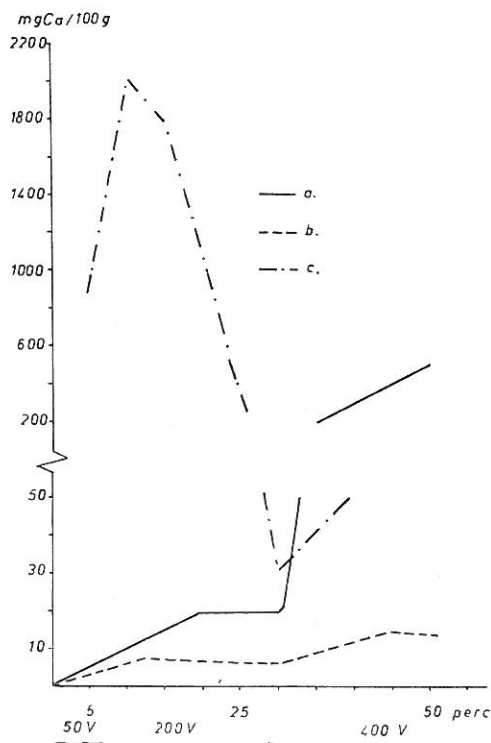
Amint már említettük, a humusz a Ca-ot a szorpcionál előnyben részesíti (szelektíven köti). E szelektív kötési helyek a pH-változás hatására megváltozhatnak, ahogy ezt a 8. ábra is mutatja. Az alacsonyabb pH-jú csernozjom kicserélhető Ca mennyisége kevesebb (450 mg/100 g talaj), mint a magasabb pH-jú talajé (544 mg), de a deszorbeált Ca mennyisége mégis az alacsonyabb pH mellett nagyobb. Ez a talaj tehát nem köti olyan erősen a Ca-ot, mint a magasabb pH-jú talaj. Az EUF tehát a Ca kötési energiáját is jól mutatja.

Az alacsony pH-jú talajok legjobb indikátora azonban a katódszűrőn kivált alumínium és vas, amely szabad szemmel is jól látható. Karbonátok jelenléte esetén a katódszűrő tiszta fehér marad. Az EUF-értékeket tehát nem egyenként, hanem együttesen kell kiértékelnünk. Az egyik vagy másik talajtulajdonság jelenléte kizárhatja vagy éppen feltételezheti más talajtulajdonságok fellépését.



6. ábra

Csernozjomtalajok Ca deszorpciós görbéi humusz széttroncsolás előtt és után. a) Humusz széttroncsolás előtt. b) Humusz széttroncsolás után. Vízszintes tengely: Deszorpciós ideje. Függőleges tengely: Az EUF-ben leadott Ca mennyisége.



7. ábra

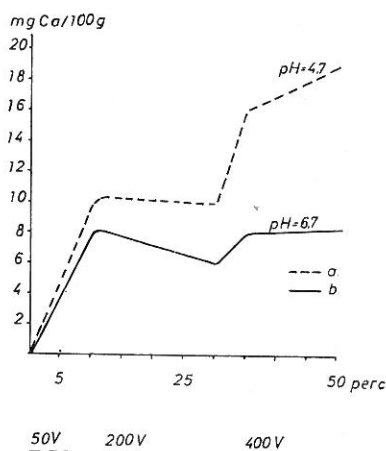
Különböző talajok Ca deszorpciós görbéi. a) CaCO_3 -os lösz. b) Csernozjom talaj. c) Szolonszák talaj ($\text{CaCl}_2 > \text{CaCO}_3$). Vízszintes tengely: Deszorpciós ideje. Függőleges tengely: Az EUF-ben deszorbeált Ca mennyisége.

e) Az EUF-ben deszorbeált magnézium kiértékelése talajvizsgálati célokra

Miután a Mg-ot sem a humusz sem az agyagásványok nem kötik szelektíven (valószínű a nagy hidratburok következtében), az EUF-ben leadott Mg nem igen alkalmas talajtulajdonságok jellemzésére. Ezzel szemben a növények számára felvehető Mg mennyisége az EUF-ben könnyen meghatározható.

A jelenlegi módszerek a könnyen felvehető Mg-ot 0,2 n CaCl_2 kivonatban vizsgálják (Schachtschabel szerint). Éppen ezért összefüggéseket kerestünk a

jelenlegi módszer által kapott értékek és az EUF-ben talált Mg mennyiségek között. A talált kapcsolatot a 9. ábra mutatja. Feltűnik azonnal, hogy két összefüggést találtunk, egyet a szabadtéri kísérletekből és egyet a tenyész-edényekből vett talajokra. Mindkét összefüggés igen szoros. Mi a magyarázata a két regresszióknak és mi a gyakorlati jelentősége?



8. ábra

Csernozjom talajok Ca deszorpciós görbéi különböző pH értékek esetén. a) Kicszerélhető Ca = 450 mg/100 g. b) Kicszerélhető Ca = 544 mg/100 g talaj. Vízszintes tengely: Deszorpciós idő. Függőleges tengely: Az EUF-ben deszorbeált Ca mennyisége.

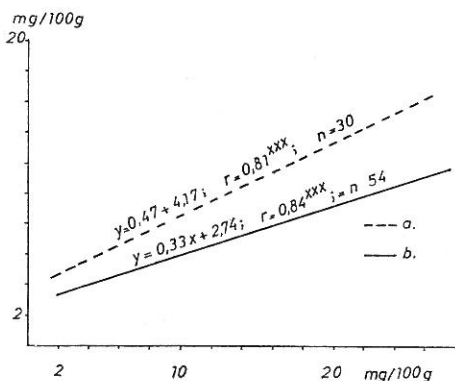
vizsgálják. Aszerint, hogy milyen az extraháló oldat pH-ja, más és más foszforvegyületek kerülnek oldatba. Tehát eltérő talajtulajdonságok esetén különböző extraháló oldatokat kellene alkalmaznunk, hogy a növény számára

A tenyészedényekben (Ahr-edények) bent maradnak a műtrágyák anionjai (Cl^- , SO_4^{2-} stb.). A szabadföldi kísérleteknél ezek a tél folyamán azonban kimosódnak. Miután a talaj az anionokat csak igen kis mértékben köti, bent maradnak a talajoldatban, mégpedig kationokkal együtt. Így aztán a talajoldat Ca- és Mg-koncentrációja nagyobb a tenyészedényben mint a szabadföldön. A CaCl_2 -os kivonat ezeket a különbségeket nem tudja mérni, mert az oldott és szorbeált Mg-ot egy frakcióban nyeri. Az EUF azonban különbséget tesz az egyes frakciók között és ezért van a kettős regresszió.

A leírt kísérleti eredmény gyakorlati jelentősége abban áll hogy egy bizonyos 0,2 n CaCl_2 -os kivonatban mért Mg mennyiségnél a talajoldat Mg koncentrációja a tenyészedényben magasabb, mint a szabadföldön. Ugyanez a helyzet a Ca esetében is, amelyet itt azonban részletesebben nem ismertetünk.

f) A foszfor görbék jellege és kiértékelésük talajvizsgálati célokra

A jelenlegi módszerek a könnyen felvehető foszfort a különböző kivonatokban



9. ábra

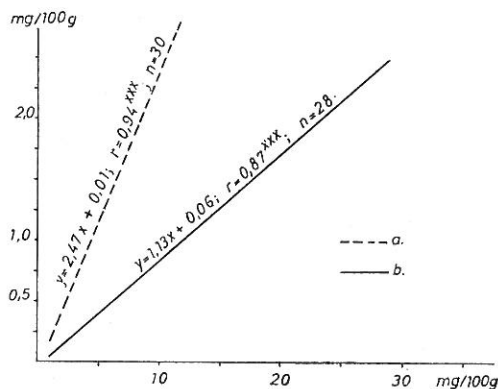
A talaj Mg tartalma (0,2 n CaCl_2 -os kivonat) és az EUF-ben 40 perc alatt deszorbeált Mg mennyiségek közötti összefüggések tenyészedényekből és szabadföldi kísérletekből vett talajmintáknál. a) Tenyészedényekből vett talajpróbák. b) Szabadföldi kísérletekből vett talajpróbák. Vízszintes tengely: A talaj Mg mennyisége (0,2 n CaCl_2 kivonat) mg/100 g. Függőleges tengely: Az EUF-ben 40 perc alatt leadott Mg mennyisége.

könnyen felvehető foszfort kielégítően meghatározhatjuk. Az Egner—Riehm extrakció pl. magas pH-jú talajok és nyersfoszfátok használata esetén hamis értékeket (túl magas) szolgáltat (SCHÜLLER [16], WERNER [18]). Éppen ezért Hollandiában legújabbban csak a vízben oldható foszfort határozzák meg, mert ez közelíti meg a legjobban a természetes viszonyokat. Ennek a módszernek az értékeit tükrözi vissza a legjobban a növény is (van der PAAUW [13], SIS-SINGH [17]).

Mivel az EUF módszer az elektromos áram segítségével meggyorsított és irányított vizes extrakció, összefüggéseket reméltünk a vízben oldott foszfor mennyisége és az egyes EUF foszforfrakciók között. A talált kapcsolatokat a következő ábra szemlélteti (10. ábra).

Az EUF-ben 20 perc alatt leadott foszfor mennyiségek és a vizeskivonatban mért foszforértékek között szoros kapcsolat van. Feltűnik ismét, hogy két regressziós egyenes létezik, mégpedig egy a tenyészedényekből vett talajmintákra és egy a szabadföldi kísérletekből vett mintákra. Ez azt jelenti, hogy a vízzel kioldható foszforfrakció oldódási sebessége a tenyészedényekben nagyobb, mint a szabadföldi kísérletekben. Az EUF módszer tehát érzékenyebb, mint a jelenleg alkalmazott vizes kivonat, mert itt az oldódási sebesség is mérhető. A 11. ábra jól szemlélteti az elmondottakat. Az ábra négy talaj foszforgörbét mutatja. Az első két talaj vízben oldható P-tartalma ≈ 1 mg és a másik kettő pedig ≈ 4 mg/100 g talaj. A tenyészedényből vett talajokból sokkal több P megy oldatba az első 20 perc alatt, mint a szabadföldi kísérletek talajmintáiból. Tehát a vízben oldható P-frakció oldódási sebessége más a tenyészedényben, mint a szabadföldi kísérletekben. Ezért a kettős regresszió (10. ábra).

A 11. ábránál még feltűnik, hogy a szabadföldi kísérletekből vett mintáknál a P-görbék 30 perc után (miután a feszültséget 400 V-ra emeltük) nagyobb értékeket mutatnak, mint a tenyészedényekből vett minták görbéi. Erre a válasz egyszerű. A tenyészedényekből vett minták felvehető P-tartalma Egner—Riehm szerint az *a*) talajnál 12 mg és a *b*) talajnál 20 mg P_2O_5 /100 g talaj. Ezzel szemben a szabadföldi kísérletekből vett minták P-tartalma Egner—Riehm szerint az *a*) talajnál 24 mg és a *b*)-nél 47 mg P_2O_5 /100 g talaj. Ez azt jelenti, hogy az EUF-ben 20 perc alatt nyert P-értékek és az Egner—Riehm módszere által kapott P-tartalom között nincs mindig összefüggés. Ez nem is csoda, hiszen az Egner—Riehm módszere különböző P-frak-

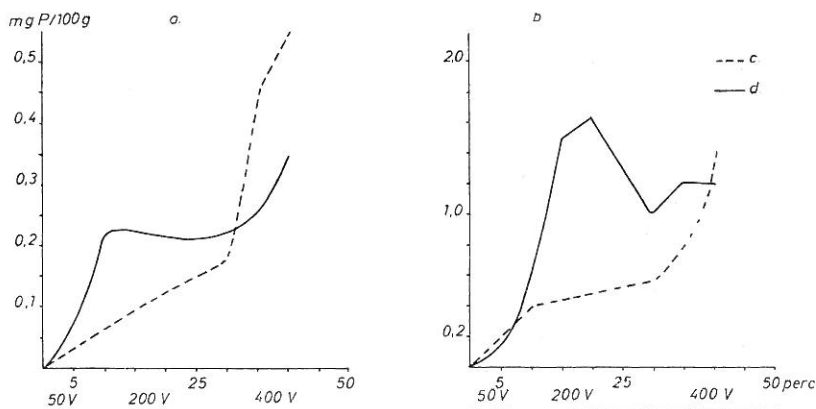


10. ábra

A vízben oldott és az EUF-ben 20 perc alatt leadott foszfor mennyiségek összefüggése tenyészedényből és szabadföldi kísérletekből vett talajmintáknál. *a*) Szabadföldi kísérletekből vett próbák. *b*) Tenyészedényekből vett próbák. Vízszintes tengely: Az EUF-ben 20 perc alatt leadott P-összege. Függőleges tengely: A vízben oldott P mennyisége.

ciókat old, amelyek oldódási sebessége igen eltérő lehet. A vízben oldható foszfor és az Egner—Riehm által nyert értékek között is rossz összefüggések vannak (van der PAAUW [13], WERNER [18]).

Tehát a növény számára az EUF-ben 20 perc alatt nyert P-értékek (intenzitás), illetve a 400 V-nál nyert P-értékek a fontosak (lásd 5. ábra \overline{AB} , \overline{CD}). Az EUF módszernek éppen ez az előnye a jelenlegi módszerekkel szemben. A hollandiai vizes módszer ugyanis csak az \overline{AB} által jellemzett, az Egner—Riehm és a hasonló más extrakciók pedig a \overline{CD} -által jellemzett értékeket szolgáltatják. Az EUF-ben az intenzitás és quantitás egyaránt vizsgálható. Ezenkívül az EUF még a vízbenoldható P-frakciók között is különbséget tud tenni, mert a vízbenoldható P-frakció oldódási sebessége eltérő lehet (lásd tenyész-
edény és szabadföldi viszonyok).



11. ábra

EUF foszfor-görbék összehasonlítható mennyiségű, vízben oldható foszfortartalom esetén, tenyészedény és szabadföldi kísérletben. *a)* A talajok vízben oldható P tartalma ≈ 1 mg/100 g. *b)* A talajok vízben oldható P tartalma ≈ 4 mg/100 g. *c)* Szabadföldi kísérlet. *d)* Tenyészedénykísérlet. Vízszintes tengely: Extrakció ideje. Függőleges tengely: Az EUF-ben oldott P mennyisége

Összefoglalás

A modern talajvizsgálati módszereknek a következő kérdésekre kell feleletet adniuk:

1. Milyen nagy a talajoldat tápanyagkoncentrációja?
2. Hogyan változik ez a koncentráció a vegetáció folyamán?
3. Mi történik a talajba juttatott tápanyagokkal (megkötődés)?

Ennek a munkának az volt a feladata, hogy ezekre a kérdésekre az elektromos-ultraszűrő módszerével feleletet adjon, mégpedig egy extrakciós folyamat alatt.

A módszer az elektromos áram segítségével meggyorsított és irányított vizes extrakció. Mivel a munkafolyamat alatt az elektromos feszültség és az extrakció ideje változtatható, egy munkafolyamat alatt több tápanyagfrakció nyerhető, melyek deszorpció vagy oldódási sebessége igen különböző lehet.

A kationok (K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , alumínium, vas) deszorpciós sebessége és az anionok (SO_4^{2-} , karbonátok, foszfátok stb.) oldódási sebessége a különböző talajtulajdonságoktól függ, pl. az agyagtartalomtól, az agyagásványok minőségétől, humusztól, pH-értéktől stb. A módszer az említett ionok deszorpciós, vagy oldódási sebességét közvetlen méri. Így aztán a deszorpciós és oldódási görbék formájából az említett talajtulajdonságokra következtethetünk, melyek meghatározása a jelenlegi módszerekkel igen körülményes és drága. Ezzel kapcsolatban csak az agyagásványok röntgen vizsgálatát akarjuk megemlíteni.

Az egyes tápanyagfrakciók nagysága a talajoldat tápanyagkoncentrációját (intenzitás), a felvehető tápanyagok mennyiségét (quantitás), a nem kicserélhető formában jelenlevő tápanyagok kötési energiáját és a talaj káliumfixáló képességét tükrözi. Ezek az értékek külön-külön való meghatározása is csak bonyolult módszerek, laboratóriumi berendezések segítségével és sok idő igénybevételével lehetséges.

Az EUF-által meghatározott tápanyagfrakciók és kimutatott talajtulajdonságok alkalmasak egy termőterület alapos jellemzésére. A módszer tehát jól felhasználható ismeretlen vagy kevésbé ismert területek gyors megismerésére. Ha a talaj EUF-görbéit egyszer már meghatároztuk, akkor utána az egyes tápanyagokat a jelenlegi módszerekkel is vizsgálhatjuk és ezeket az értékeket a már meglevő EUF görbék alapján sokkal jobban lehet majd interpretálni.

Irodalom

- [1] EHLERS, W., MEYER, B. & SCHEFFER, F.: K-Selektivität und Fraktionierung des Austauschkaliums. Z. Pflernähr. Bodenk. **117**. 1–29. 1967.
- [2] EHLERS, W., GEBHARDT, H. & MEYER, B.: K-Austausch und kristallographisches Verhalten der Dreischicht-Tonminerale. Z. Pflernähr. Bodenk. **117**. 29–53. 1967.
- [3] GRIMME, H., NÉMETH, K. & BRAUNSCHWEIG, L. C. von: Beziehungen zwischen dem Verhalten des Kaliums im Boden und der Kaliumernährung der Pflanze. Landw. Forsch. Sonderheft **26/I**. 165–176. 1971.
- [4] MENGEL, K., GRIMME, H. & NÉMETH, K.: Potentielle und effektive Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen im Boden. Landw. Forsch. Sonderheft **23/I**. 79–91. 1969.
- [5] MENGEL, K. & NÉMETH, K.: Der Einfluß der Na- und K-Konzentration der Bodenlösung auf die Na-Gehalte von Weideaufwuchs. Landw. Forsch. **24**. 152–158. 1971.
- [6] NÉMETH, K., MENGEL, K. & GRIMME, H.: The concentration of K, Ca and Mg in the saturation extract in relation to exchangeable K, Ca and Mg. Soil Sci. **109**. 179–185. 1970.
- [7] NÉMETH, K.: Die Bestimmung der Nachlieferungsgeschwindigkeit und Kapazität verschiedener Nährionen im Boden mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF). Mitt. dtsh. Bodenk. Ges. **10**. 154–157. 1970.
- [8] NÉMETH, K.: Die Charakterisierung des K-Haushaltes von Böden mittels K-Desorptionskurven. Geoderma. **5**. 99–109. 1971.
- [9] NÉMETH, K.: Möglichkeiten zur Bestimmung der effektiven K-Verfügbarkeit und des K-Bedarfs im Boden. Kali-Briefe. 5. Folge. 1971.
- [10] NÉMETH, K.: Möglichkeiten zur Bestimmung maßgeblicher Faktoren der Bodenfruchtbarkeit mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF). Landw. Forsch. Sonderheft. **26/I**. 192–198. 1971.
- [11] NÉMETH, K. & GRIMME, H.: Effect of soil pH on the relationship between K-concentration in the saturation extract and K-saturation of soils. Soil Sci. (Nyomdában).
- [12] OLIVER, S. & BARBER, S. A.: An evaluation of the mechanisms governing the supply of Ca, Mg, K and Na to soybean roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **30**. 82–86. 1966.

- [13] PAAUW, F. van der: Entwicklung und Verwertung einer neuen Wasserextraktionsmethode für die Bestimmung der pflanzenaufnehmbaren Phosphorsäure. Landw. Forsch. Sonderheft 23/II. 102–109. 1969.
- [14] SCHACHTSCHABEL, P.: Untersuchungen über die Sorption der Tonminerale und organischen Bodenkolloide und der Bestimmung des Anteils dieser Kolloide an der Sorption im Boden. Kolloid-Beiheft 51. 199–276. 1940.
- [15] SCHONWENBURG, J. CH. van & SCHUFFELEN, A. C.: Potassium exchange behaviour of an illite. J. Agric. Sci. 11. 13–22. 1963.
- [16] SCHÜLLER, H.: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. PflErnähr. Bodenk. 123. 48–63. 1969.
- [17] SISSINGH, H. A.: Die Lösung der Bodenphosphorsäure bei wässriger Extraktion in Verbindung mit der Entwicklung einer neuen P-Wasser-Methode. Landw. Forsch. Sonderheft 23/II. 110–120. 1969.
- [18] WERNER, W.: Kennzeichnung des pflanzenverfügbaren Phosphates nach mehrjähriger Düngung mit verschiedenen Phosphaten. Z. PflErnähr. Bodenk. 122. 19–32. 1969.

Érkezett: 1971. szeptember 16.

Soil Studies by Means of Electro-Ultrafiltration (EUF)

K. NÉMETH

Agricultural Research Institute of Büntehof, Hannover, (FRG)

Summary

Modern methods of soil testing must give answer to such problems, as the nutrient concentration of the soil solution, and its changes during the vegetation period, release and fixation of plant nutrients in the soil, etc. These phenomena were studied by means of electro-ultrafiltration in a single extraction pass.

The applied method was aqueous extraction intensified and directed by electric current. Due to the fact that in the course of the process voltage and duration of the extraction could be varied, several nutrient fractions of different desorption and dissolution rate could be obtained.

Desorption rate of cations (K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al , Fe) and dissolution rate of anions, (sulfates, carbonates, phosphates, etc.) depend on various soil properties, e. g. clay content, composition of the clay fraction, humus content, pH values, etc. Desorption and dissolution rates of the above ions could be directly measured with the proposed method. Thus on the basis of the desorption and dissolution curves interpretation conclusions could be drawn relating to the above mentioned soil properties, direct determination of which is rather complicated and expensive at present (e. g. the X-ray analysis for the determination of clay minerals, etc.).

The quantity of various nutrient fractions reflects the nutrient concentration of the soil solution (intensity), the available nutrient content, (quantity), the binding energy of the unexchangeable nutrients and the potassium fixation capacity of a soil. The direct determination of these factors can be attained only with time consumptive laboratory methods and expensive laboratory equipments.

The nutrient fractions and soil properties, obtained by means of electro-ultrafiltration can be considered as long-term characteristics of a site. The method can be used for rapid soil tests during reconnaissance soil surveys. After having evaluated the characteristic data of a site once by means of EUF, further nutrient investigations may be carried out using conventional rapid tests. On the basis of the site data available, a better interpretation of the results obtained from these tests is possible.

Figure 1. Na desorption curves for soils of various clay contents. a) Sand (4% clay). b) Silty loam (17% clay). c) Loamy clay (32% clay). Horizontal axis: Duration of desorption, min. Vertical axis: Amount of desorbed Na, mg/100 g soil.

Figure 2. K and Na desorption curves for two soil types of similar exchangeable K and Na contents but different clay contents. a) Clay loam. b) Sand. c) K desorption curves. d) Na desorption curves. Horizontal axis: Duration of desorption, min. Vertical axis: Amounts of desorbed K and Na, mg/100 g soil.

Figure 3. K desorption curves for soils of similar exchangeable K contents but different clay mineral composition. a) Clay minerals of kaolinite type. b) Clay minerals of illite type. c) Mainly expanded clay minerals. Horizontal axis: Duration of desorption, min. Vertical axis: Amount of desorbed K, mg/100 g soil.

Figure 4. K desorption curves for soils of the same exchangeable K contents (20 mg K/100 g soil), but different pH. Horizontal axis: Duration of desorption, min. Vertical axis: Amount of desorbed K, mg/100 g soil.

Figure 5. Interpretation of K desorption curves for soil testing. a) Intensity. (K^+ concentration of the soil solution). b) Quantity (amount of the exchangeable K of the soil). c) Nutrient supply (binding energy of the exchangeable K) $\frac{AB}{CD} = K$ fixation capacity of the soil. Horizontal axis: Duration of desorption, min. Vertical axis: amount of desorbed K, mg/100 g soil.

Figure 6. Ca desorption curves of chernozem soils before (a) and after (b) H_2O_2 processing. Horizontal axis: Duration of desorption, min. Vertical axis: amount of desorbed Ca, mg/100 g soil.

Figure 7. Ca desorption curves of various soil types. a) Loess. b) Chernozem soil. c) Solonchak soil ($CaCl_2 > CaCO_3$). Horizontal axis: Duration of desorption. Vertical axis: Amount of desorbed Ca, mg/100 g soil.

Figure 8. Ca desorption curves of chernozem soils at different pH values. a) Exchangeable Ca = 450 mg/100 g soil. b) Exchangeable Ca = 544 mg/100 g soil. Horizontal axis: Duration of desorption, min. Vertical axis: Amount of desorbed Ca, mg/100 g soil.

Figure 9. Relationships between the Mg content of the 0.2 n $CaCl_2$ extract and the amount of Mg desorbed by EUF (duration of desorption: 40 minutes). a) Soil samples taken from pots. b) Soil samples taken from field experiments. Horizontal axis: Mg content of the 0.2 n $CaCl_2$ extract, mg/100 g soil. Vertical axis: Amount of Mg desorbed by EUF, mg/100 g soil.

Figure 10. Relationships between water soluble P content and the amount of P desorbed by EUF (duration of desorption: 20 minutes). a) Soil samples taken from field experiments. b) Soil samples taken from pots. Horizontal axis: Amount of desorbed P, mg/100 g soil. Vertical axis: Amount of water soluble P, mg/100 g soil.

Figure 11. P solubility curves for soils of different water soluble P contents. a) Water soluble P contents of soils ≈ 1 mg/100 g soil. b) Water soluble P contents of soils ≈ 4 mg/100 g soil. c) Field experiment. d) Pot experiment. Horizontal axis: Duration of extraction, min. Vertical axis: Amount of P dissolved by EUF, mg/100 g soil.

Etude des sols avec la méthode de l'ultra-filtration électrique (EUF)

K. NÉMETH

Institut de Recherches Agronomiques Büntehof, Hannover (RFA)

Résumé

Les méthodes modernes d'analyse des sols doivent aider de recevoir des informations concernant la concentration des éléments nutritives dans la solution de sol, ses changements pendant la période de végétation ainsi que la dissolution et la fixation des substances nutritives dans le sol, etc. Ces phénomènes ont été étudiés à l'aide de l'ultra-filtration électrique au cours d'un seul procès d'extraction.

La méthode est essentiellement une extraction aqueuse accélérée et dirigée par le courant électrique. Puisque le voltage et la durée de l'extraction peuvent être changés pendant l'opération, il est possible de recevoir — par un seul procès — plusieurs fractions de substance nutritive dont les vitesses de desorption et dissolution étaient différentes.

La vitesse de desorption des cations (K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , Al , Fe) et la vitesse de dissolution des anions (sulphates, carbonates, phosphates, etc.) dépendent des propriétés de sol différentes, p. ex. la teneur en argile, la composition de la fraction d'argile, la teneur en humus, les valeurs de pH, etc. Par la méthode proposée, la vitesse de desorption des ions ci-dessus peut être directement mesurée. Ainsi à l'aide des courbes de desorption et de dissolution, on peut tirer des conclusions concernant les propriétés

de sol mentionnées, l'établissement direct desquelles est assez compliqué et coûteux d'à présent (p. ex. l'analyse aux rayons-X des minéraux d'argile, etc.)

La quantité des différentes fractions de substances nutritives reflète la concentration en substances nutritives de la solution de sol (intensité), la teneur en éléments nutritifs accessibles (quantité), l'énergie fixatrice pour les substances nutritives non échangeables ainsi que la capacité de fixer le potassium du sol. La détermination directe de ces facteurs n'est possible que par les méthodes au laboratoire exigeant beaucoup de temps et des équipements coûteux.

Les fractions des substances nutritives et les propriétés de sol reçues à l'aide de l'ultra-filtration électrique sont bien aptes à caractériser un certain terrain arable. Cette méthode peut être employée pour les analyses de sol rapides pendant la prospections des terrains inconnus ou peu connus. Après avoir évaluées les données caractéristiques d'un territoire à l'aide de l'EUF, par la suite les différentes substances nutritives peuvent être examinées par les méthodes traditionnelles et il sera possible d'interpréter ces valeurs à base des courbes d'EUF disponibles.

Fig. 1. Courbes de désorption de Na pour des sols aux différentes teneurs en argile. a) Sable (4% d'argile). b) Lehm farineux (17% d'argile). c) Argile limoneuse (32% d'argile). Axe horizontal: Durée de désorption, minutes. Axe vertical: Quantité de Na désorbée, mg/100 g de sol.

Fig. 2. Courbes de désorption pour deux types de sol de teneurs en K et Na similaires mais de teneurs en argile différentes. a) Limon argileux. b) Sable. c) Courbe de désorption de K. d) Courbe de désorption de Na. Axe horizontal: Durée de désorption, minutes. Axe vertical: Quantité de K et Na désorbée, mg/100 g de sol.

Fig. 3. Courbes de désorption pour des sols de teneurs en K similaires mais de différentes composition de minéraux d'argile. a) Minéraux d'argile à caolinite. b) Minéraux d'argile à lillite. c) Minéraux d'argile pour la plupart aux réseaux expansés. Axe horizontal: Durée de désorption, minutes. Axe vertical: Quantité de K désorbée, mg/100 g de sol.

Fig. 4. Courbes de désorption pour les sols aux teneurs similaires en K échangeable (20 mg K/100 g de sol) mais aux différentes valeurs pH. Axe horizontal: Durée de désorption, minutes. Axe vertical: Quantité de K désorbée, mg/100 g de sol.

Fig. 5. Interpretation des courbes de désorption de K pour les buts de l'analyse de sol. a) Intensité (concentration de K dans la solution de sol). b) Quantité (teneur en K échangeable du sol). c) Approvisionnement en substances nutritives (énergie fixatrice pour le K non échangeable $\frac{AB}{CD}$ = capacité des sols pour fixer le K. Axe horizontal:

Durée de désorption de K, min. Axe vertical: Quantité de K désorbée, mg/100 g de sol.

Fig. 6. Courbes de désorption de Ca pour chernozems avant (a) et après (b) le traitement à H_2O_2 . Axe horizontal: Durée de désorption, minutes. Axe vertical: Quantité de Ca désorbée, mg/100 g de sol.

Fig. 7. Courbes de désorption de Ca pour des sols différents. a) Loess. b) Chernozem. c) Solonchak ($CaCl_2 > CaCO_3$). Axe horizontal: Durée de désorption, minutes. Axe vertical: Quantité de Ca désorbée, mg/100 g de sol.

Fig. 8. Courbes de désorption de Ca pour des chernozems aux différentes valeurs pH. a) Ca échangeable = 450 mg/100 g de sol. b) Ca échangeable = 544 mg/100 g de sol. Axe horizontal: Durée de désorption, minutes. Axe vertical: Quantité de Ca désorbée, mg/100 g de sol.

Fig. 9. Corrélations entre les teneurs en Mg de l'extrait à 0,2 n $CaCl_2$ et la quantité de Mg désorbée par l'EUF (durée de désorption: 40 minutes). Échantillons prises des sols des vases de végétation (a) et des champs (b). Axe horizontal: Teneur en Mg de l'extrait à 0,2 n $CaCl_2$, mg/100 g de sol. Axe vertical: Quantité de Mg désorbée par l'EUF, mg/100 g de sol.

Fig. 10. Rapport entre la teneur en P soluble dans l'eau et la quantité de P désorbée par l'EUF (durée de désorption: 20 minutes). Les échantillons étaient prises des sols des vases de végétation (a) et des champs (b). Axe horizontal: Quantité de P désorbée mg/100 g de sol. Axe vertical: Quantité de P soluble dans l'eau, mg/100 g de sol.

Fig. 11. Courbes de solubilité de P pour des sols aux différentes teneurs en P soluble dans l'eau. Teneurs en P soluble dans l'eau: a) ≈ 1 mg/100 g de sol. b) ≈ 4 mg/100 g de sol. c) Essais au champ. d) Expériences en vases de végétation. Axe horizontal: Durée de l'extraction, minutes. Axe vertical: Quantité de P dissolue par l'EUF, mg/100 g de sol.

Почвенные исследования при помощи электроультрафильтра (EUF)

К. НЕМЕТ

Бюнтехофский Научно-исследовательский сельскохозяйственный институт, Ханновер (ФРГ)

Резюме

Современные методы исследования почвы должны отвечать на следующие вопросы:

1. Какова концентрация питательных элементов в почвенном растворе?
2. Как изменяется эта концентрация в течении вегетационного периода?
3. Что происходит с питательными элементами после их попадания в почву (связывание)?

Цель этой работы состояла в том, чтобы дать ответ на поставленные вопросы применяя метод электро-ультрафильтра, за один процесс экстракции.

Метод с помощью электрического тока ускоряет и направляет водную экстракцию. В результате того, что напряжение тока во время работы и время экстракции может изменяться за один рабочий процесс можно выделить несколько фракций питательных элементов, десорбция которых или скорость растворения могут сильно различаться друг от друга.

Скорость десорбции катионов (K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , алюминий и железо) и скорость растворимости анионов (SO_4^{2-} , карбонаты, фосфаты и т. д.) зависит от различных свойств почвы например, от содержания в почве глины, от качества глинистых минералов, от содержания гумуса, от величины pH и т. д. При помощи этого метода измеряется скорость десорбции ионов или скорость растворения. Таким образом из кривых десорбции и растворимости можно сделать вывод относительно упомянутых свойств почвы, определение которых существующими методами весьма сложно и дорогостоящее. Среди них достаточно упомянуть рентгеновский метод изучения глинистых минералов.

Размер отдельных питательных фракций отражает концентрацию питательных элементов в почвенном растворе (интенсивность), количество усвояемых питательных элементов (квантитативность), энергию связывания питательных элементов, присутствующих в обменной форме и способность почвы к фиксации калия. Определение по отдельности этих значений можно провести только применяя сложные методы и лабораторное оборудование с большой затратой времени.

Питательные фракции, определенные методом EUF и показанные свойства почвы пригодны для характеристики производственной территории. Таким образом, метод может быть хорошо использован для быстрого изучения не изученной или мало изученной территории. Если кривые EUF почвы были уже один раз определены, то потом отдельные питательные элементы можно определить и обычными методами и их значения на основе уже имеющихся кривых EUF можно лучше интерпретировать.

Рис. 1. Кривые десорбции ионов натрия почвы в зависимости от содержания различного количества глинистых частиц. *a)* Песчаная почва (4% глины). *b)* Суглинистая почва (17% глины). *c)* Глинистая почва (32% глины). По горизонтальной оси: время десорбции. По вертикальной оси: количество десорбированного натрия в EUF в мг/100 г почвы.

Рис. 2. Кривые десорбции калия и натрия двух почв при подобном содержании обменных K и Na, но различном содержании глины. *a)* Глинистая почва. *b)* Песчаная почва. *c)* Кривые десорбции K. *d)* Кривые десорбции Na. По горизонтальной оси: время десорбции. По вертикальной оси: количество калия и натрия полученное в EUF, в мг/100 г почвы.

Рис. 3. Кривые десорбции калия почв при подобном содержании ионов обменного калия, но отличающихся по качеству глинистых минералов. *a)* Глинистые минералы типа каолинита. *b)* Иллитовые глинистые минералы. *c)* Иллитовые глинистые минералы в основном с расширенной кристаллической решеткой. По горизонтальной оси: время десорбции. По вертикальной оси: количество калия десорбированного в EUF, в мг/100 г почвы.

Рис. 4. Кривые десорбции калия при одинаковом содержании обменного калия (20 мг K/100 г почвы), но при различных значениях pH. По горизонтальной оси: время десорбции. По вертикальной оси: количество калия десорбированного в EUF в мг/100 г почвы.

Рис. 5. Оценка кривых десорбции калия с целью почвенных исследований. *a)* Числовое значение характерное для интенсивности. (концентрация K^+ в почвенном растворе). *b)* Числовое значение характерное для количества (количество ионов обменного калия в

почве). *с*) Величина характерная для пополнения питательными веществами. $\frac{AB}{CD}$ = способность почвы связывать (фиксировать) калий. По горизонтальной оси: время десорбции. По вертикальной оси: количество ионов калия десорбированного в EUF.

Рис. 6. Кривые десорбции Са черноземных почв до и после сжигания гумуса. *а*) Перед сжиганием гумуса. *б*) После сжигания гумуса. На горизонтальной оси: время десорбции. На вертикальной оси: количество кальция полученного в EUF.

Рис. 7. Кривые десорбции кальция различных почв. *а*) Лёсс (CaCO_3). *б*) Чернозем. *с*) Солончак ($\text{CaCl}_2 > \text{CaCO}_3$). По горизонтальной оси: время десорбции. По вертикальной оси: количество кальция десорбированного в EUF.

Рис. 8. Кривые десорбции Са черноземных почв в случае различных значений pH. *а*) Обменный кальций = 450 мг/100 г. *б*) Обменный кальций = 544 мг/100 г почвы. По горизонтальной оси: время десорбции. По вертикальной оси: количество десорбированного кальция в EUF.

Рис. 9. Зависимость между содержанием магния в почве (0,2 н. CaCl_2 — вытяжка) и количеством магния десорбированного в EUF за 40 минут у почвенных образцов, взятых в вегетационных и полевых опытах. *а*) Пробы взятые из почв вегетационных опытов. *б*) Пробы, взятые из почв полевых опытов. По горизонтальной оси: количество магния в почве в мг/100 г (0,2 н. CaCl_2 вытяжка). По вертикальной оси: количество магния полученного в EUF за 40 минут.

Рис. 10. Зависимость между количеством воднорастворимого и полученного на фильтре за 20 минут фосфора в почвенных образцах из вегетационного и полевого опытов. *а*) Почвенные пробы, взятые в полевом опыте. *б*) Почвенные пробы, взятые в вегетационном опыте. По горизонтальной оси: общее количество фосфора полученное на EUF за 20 минут. По вертикальной оси: количество воднорастворимого фосфора.

Рис. 11. Кривые фосфора, полученные EUF в случае сравнимых количеств воднорастворимого фосфора в вегетационных и полевых опытах. *а*) Содержание в почве воднорастворимого фосфора ≈ 1 мг/100 г. *б*) Содержание в почве воднорастворимого фосфора ≈ 4 мг/100 г. *с*) Полевой опыт. *д*) Вегетационный опыт. По горизонтальной оси: время экстракции. По вертикальной оси: количество фосфора полученное на EUF.